

社団法人 日本応用磁気学会

第131回研究会資料

主題 電磁ノイズ吸収技術の高周波化、
スケールダウンの現状と将来像

会 場：日本化学会 化学会館

2003年(平成15年) 7 月 4 日

Best Available Copy

ルは、表裏2面の並列1ターンコイルとし、コイル先端に設けたギャップ部から誘起電圧を信号線に導き、信号線と並列コイルからなる3層構造をストリップラインとして利用することによって特性インピーダンスを50Ωに整合している。信号伝送上、並列コイルは地導体板の役割を兼用している。これをシールドドループコイルと呼ぶ。この構造の特徴は、電界誘起電圧を除去し、磁界に関わる信号のみを抽出でき、かつこれが平面的構造で可能となったことである。

現在、薄膜の伝送線路への効果は、20GHz付近まで測定できているが、薄膜素材の特性も9GHzまで評価が可能になった。Fig. 13は完成したシステムの全体図である。Fig. 14はCo-Zr-O(厚さ1μm)の測定例である。現在、フランスCEA及びアメリカNISTと試料交換測定による精度検証を行っている。

5. まとめ

- (1) 強磁性共鳴損失と渦電流損失の協調によって、1GHz~20GHzあるいはそれ以上にわたる広帯域な集積化電磁雑音対策素子が実現できることを基礎実験段階として実証できた。
- (2) 伝送線路に磁性膜を集積化すると、信号線を周回するような局所的磁気回路によって、磁性膜は強い反磁界を受ける。これがGHz帯域での強磁性共鳴損失の発生に大きく寄与する。したがって、磁性膜の膜厚や信号線近傍のデバイス寸法を変えることによって、損失発生の周波数を設計・制御できる。
- (3) コプレーナ線路と磁性膜とのギャップを狭くすることによって、更なる特性向上が期待できる。すなわち磁性膜をモノリシックに集積化することは単にプロセスの一体化・集約化によるコスト減だけでなく、性能向上も同時に達成可能な技術である。
- (4) 9GHz帯域薄膜透磁率測定装置を開発し、材料評価の精度が格段に向上した。

謝辞

本研究の一部は、通信・放送機構地域提案型研究開発制度「ナノ構造制御による高性能電波吸収薄膜材料の開発(代表:東北大学 島田 寛教授)、文部科学省産学官連携イノベーション創出事業費補助金(独創的革新技術開発研究提案公募制度)

「常温作製・高絶縁性フェライト膜を用いたマイクロ磁気技術の開発」(代表:東工大 阿部正紀教授)、日本学術振興会日韓科学協力事業「磁性薄膜を用いたGHz帯動作マイクロ磁気デバイスの開発」(代表:東北大学 山口正洋、漢陽大 Jongryoul Kim 教授)、および東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会H14-B11「RF集積回路における磁性薄膜応用技術の研究」(代表:東北大学 山口正洋)に依った。これらのプロジェクトを通してご討論頂いた皆様に深謝します。

Co-Zr-O及びCo-Al-Pd-O薄膜をご提供頂いた電気磁気材料研究所 大沼繁弘氏、スピンスプレー法によるフェライト膜をご提供頂いた東工大 阿部正紀教授、松下伸弘助手に深謝します。

マイクロ加工装置でお世話になった東北大学電気通信研究所荒井研究室、中村研究室、同超高密度高速知能実験施設、同評価分析センター、東北大学ベンチャ・ビジネス・ラボラトリに感謝します。研究の遂行上種々ご配慮頂いた東北大学電気通信研究所荒井賢一教授並びに同研究室の皆様へ感謝します。

文献

- (1) M. Yamaguchi, et al, JAP, **85** (1999), 7919-7922.
- (2) M. Yamaguchi, et al, IEEE Trans. Magn., **38** (2002.9), 3183-3185.
- (3) S. Ohnuma et al., th 25th Annual conference on the Magnetism in Japan, 25pC-1, (2001.9).
- (4) K-H Kim, et al, "Effect of RF noise suppression on the coplanar transmission line using soft magnetic thin films", JAP, 2003, in press.
- (5) N. Matsushita, et al., IEEE Trans. Magn., **38** (2002) 3111-3113.
- (6) M. Yamaguchi, et al., Intermag 2003, EA-03 (Boston, USA, 2003).
- (7) Y. Miyazawa, et al., 2nd Int'l Symposium on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials, A-3 (Boston, USA, 2003)

2003年6月13日受理

ナノグラニューラー磁性薄膜の GHz 帯における電磁波ノイズ抑制効果

Noise suppression effect by nano-granular magnetic films at GHz frequency

大沼 繁弘、*名倉 秀明、増本 健

(電気磁気材料研究所、*現：シャープ株式会社)

S. Ohnuma, *H. Nagura, T. Masumoto

(The Research Institute for Electric and Magnetic Materials, *present address: Sharp Co.)

Abstract: The noise suppression effect of nano-granular soft magnetic thin films, which permeability is considerably high at GHz band, was reviewed. Samples were prepared by a reactive sputtering method in a mixed gas of argon and oxygen. The results of transmission and reflection measurements reveal that nano-granular soft magnetic thin films have a high potential for a noise suppressors at the GHz band, although, the reflection parameter(S_{11}) is more than -10 dB, because of its low conductivity. In order to improve S_{11} to less than -10 dB, patterned films were prepared. A patterning the film with slits along the micro strip line reduces S_{11} below -10 dB, and the film demonstrates power loss greater than that of a conventional composite-type noise suppressor sheet, nevertheless its thickness is 50 times thicker than that of nano-granular thin film.

1. はじめに

パソコンや携帯電話などが輻射する不要電磁波 (Electromagnetic Interference: EMI) 問題が盛んに指摘され、電子機器の電磁波障害対策 (Electromagnetic Compatibility: EMC) は、重要な研究開発テーマとなっている。これまでに EMC 材料としてフェライト、複合磁性体などの磁気損失を利用した電磁波ノイズ抑制体が応用化されている^(1,2)。しかし、近年の電子デバイスの発展は著しく、EMC の対象がパソコンなどのシステムから回路基板を経て半導体集積素子のような微小な電子デバイス内部にまで及ぶようになり、“マイクロ EMC”と呼ばれる、微小領域での EMC 対策技術が注目され始めている。しかし、それに適したノイズ抑制材料は見出されていない。

磁性材料のノイズ抑制効果の大きさは、磁気損失項である複素透磁率(μ'')の大きさと磁性体の厚さの積に依存する⁽³⁾。従って、薄い磁性薄膜を用いて、GHz 帯域で所望のノイズ抑制効果を達成するには、GHz 帯域で大きな μ'' をもつこと、そのために GHz 帯域に共鳴周波数(f_r)を持つことが必要となる。ナノグラニューラー軟磁性膜は、これらの条件を満足するため⁽⁴⁾、GHz 帯域でのノイズ抑制膜としての応用が期待できる。ただし、現状のナノグラニューラー薄膜の電気比抵抗(ρ)は、数 100～数 1000 $\mu\Omega\text{cm}$ であり、フェライトやノイズ抑制材料として用いられている複合磁性シート⁽²⁾のそれに比較すると小さく、大きな反射の発生が懸念される。

本稿では、始めにナノグラニューラー磁性薄膜とその高周波軟磁気特性を概説する。次にナノグラニューラー軟磁性薄膜の磁気特性と伝送特性を検討した一例として、比較的大きな B_s を有する CoFeAlO 膜の結果を紹介する。ナノグラニューラー磁性膜をノイズ抑制材料として使用する際に懸念されるスタブ効果の対策として、磁性薄膜の膜抵抗を大きくするために、パターン化膜を作製し、そのパターン形状とスタブ効果の関係について検討した最近の試みも紹介する。

2、実験方法

実験に供したナノグラニューラー軟磁性膜はスパッタ成膜法により作製した⁽⁵⁾。具体的には、高周波マグネトロンスパッタ装置を用い、Ar+O₂ガスをスパッタガスに用いた反応性スパッタ法にて室温で作製した。膜中の酸素濃度は、スパッタガス中の酸素分圧比を調節することにより制御した。膜に一軸磁気異方性を付与することを目的に、基板付近に100 Oeの磁場を印加して成膜した。パターン化する場合、パターン幅が1mm以下の膜ではフォトリソグラフィを用い、他方1mm以上の場合は、ダイシングソーを用いてパターン化した。伝送特性は、micro strip line: MSL (幅:3 mm, 長さ:50 mm, 特性インピーダンス 50 Ω) とネットワークアナライザを用い、MSL上に20×20 mm²角の試料を膜面が下になるように配置し、反射特性 (S_{11}) および透過特性 (S_{21}) を測定した (Fig.1)。膜とMSLの間には50 μm厚のフィルムを挟んで測定した。なお、所望の周波数帯域での S_{11} および S_{21} の目標値はそれぞれ $S_{11}<10$ dB, $S_{21}=3$ dB とした。また、ノイズ抑制効果 ($P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$) は、式 (1) より算出した。

$$P_{\text{Loss}}/P_{\text{in}} = 1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2) \quad (1)$$

3-1) ナノグラニューラー磁性膜

磁性金属と絶縁性非金属（セラミックス）からなるナノグラニューラー磁性膜は、粒径が nm オーダーの磁性金属グラニュール（粒子）とそれを取り囲む絶縁性非金属のインターグラニュール（粒界）からなる構造を有し (Fig.2)、バルク材料には無い、膜構造に起因するユニークな特性を示す。ナノグラニューラー磁性膜が、実用的な観点から初めて検討された例が、磁気記録媒体で代表される硬質磁気特性であり⁽⁶⁾、ここ20年間に、その他の特性、すなわち、高周波軟磁性⁽⁷⁾、巨大磁気抵抗効果 (GMR

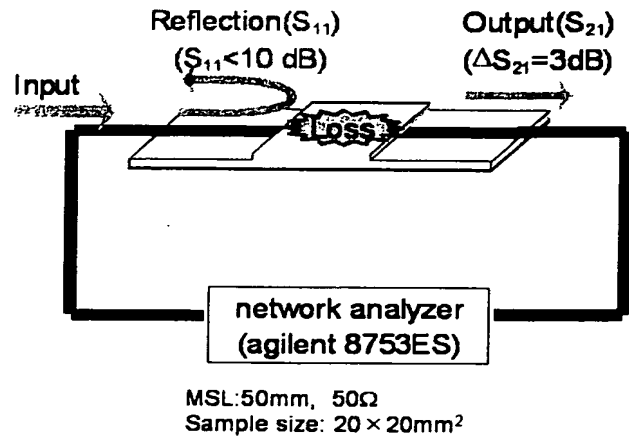


Fig.1 Schematic illustration of the micro-strip line with a magnetic sample for transmission and reflection measurement.

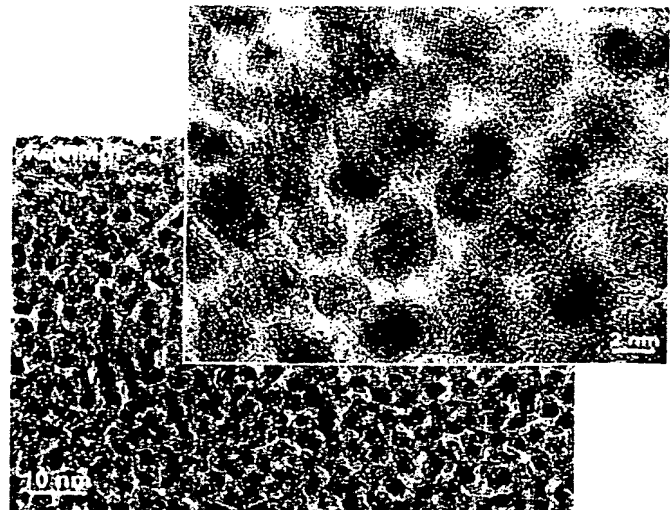


Fig. 2 TEM micrograph of nano-granular soft magnetic thin film.

)⁽⁸⁾、巨大ホール効果⁽⁹⁾、そして磁気光学効果⁽¹⁰⁾等が見出された。これらの特性は強磁性元素、セラミックス形成元素とガス元素の種類、組成比、成膜方法、及びその作製条件を検討することによって実現される。

ナノグラニューラー構造を有する磁性膜を得るための留意点は、磁性元素 (TM)、金属もしくは半金属元素 (ME) と (O, N, F) 等のガス元素との親和力の大きさの差である。すなわち、粒界形成物質 (ME-O, N or F) の生成熱と、粒子を形成する磁性元素がガス元素と反応して出来る物質 (TM-O, N or F) の生成熱との差の大きさである。この生成熱の差が大きければ大きいほど、粒子と粒界の分離状態の優れたナノグラニューラー構造磁性膜が自己形成し、諸特性にも影響する⁽¹¹⁾。

金属-絶縁物型ナノグラニューラー磁性膜の中で絶縁物濃度が比較的低く、かつ $\rho=10^2\sim10^3\ \mu\Omega\text{cm}$ の電気比抵抗を示す膜は、一般に、高周波帯域まで優れた軟磁気特性を示す。初めて軟磁気特性が見出されたナノグラニューラー磁性膜は Fe-BN 膜⁽⁷⁾で、その後、Fe 系、Co 系の広い組成系で様々な特性を示す膜が見出されてきた⁽¹²⁾。共通している特長は、金属磁性材料と同じ程度の大きさの B_s を有しているにも係らず、 ρ が金属材料のそれよりも一桁以上大きいことである。その他、Co 基膜では H_k が大きい等の合金系特有の特長を有している。例えば、CoSiPdO 系膜では $\rho=1000\ \mu\Omega\text{cm}$, $B_s=9\ \text{kG}$ を保持したまま、 $H_k=400\ \text{Oe}$ を示す軟磁性膜が得られる。これらの膜の粒子径は nm サイズで、粒子同士が高い比率で接触している。そのため、膜の軟磁性は微結晶軟磁性膜とほぼ同様なメカニズムで説明することが出来る⁽¹³⁾。またマクロ系には均一磁性体とみなすことが出来るため、膜の透磁率の周波数依存性 (μ -f 特性) はランダウ・リフシッツ (L.L.) の運動方程式を用いた予測値⁽¹⁴⁾ とほぼ一致する。

4、Co-Fe-Al-O ナノグラニューラー膜の磁気特性と伝送特性

ナノグラニューラー軟磁性膜の電磁波ノイズ吸収特性を評価するに当たって、 $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ ナノグラニューラー磁性膜を選択した。 $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ 膜は Fig. 3(a) に示すように、比較的大きな B_s と、適度な大きさの異方性磁界 ($H_k=50\ \text{Oe}$) を示す軟磁性膜である。そのため、かなり大きな透磁率 ($\mu=B_s/H_k$) と大きな磁気損失 (μ'')、それに基づく大きなノイズ吸収特性が期待できる。今回はスタブ効果をも考慮して膜のパターン化も試みた。パターン形状は短冊状

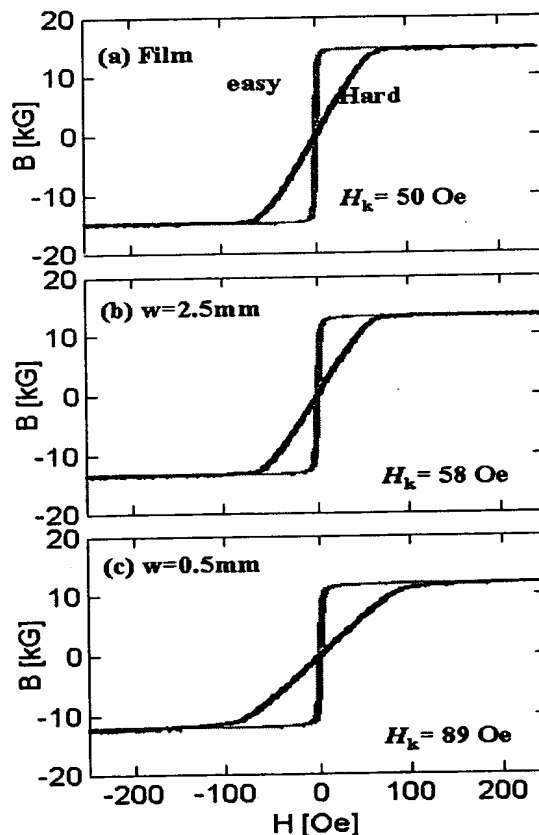


Fig.3 Magnetization curves for FeCoAlO nano-granular films; (a) films, (b) and (c) films which was patterned with slit along the easy axis.

とした。短冊状パターンを採用した理由は $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ 膜の H_k が 50 Oe とそれほど大きくないので、素材特有の H_k の他に、短冊の寸法比に起因する形状磁気異方性を利用するためである。なお、実験に供した膜の電気比抵抗と膜厚はそれぞれ約 $200 \mu\Omega\text{cm}$ と $1 \mu\text{m}$ である。

Fig. 3 にパターン化する前の (ベタ) 膜の $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ ナノグラニューラー磁性薄膜 (a)、および磁化容易軸方向と平行にそれぞれ 2.5 mm (b)、0.5 mm (c) 間隔にスリットを入れパターン化した試料の磁化曲線を示す。全ての試料は良好な軟磁気特性を示す。スリットを入れる前のベタ膜の特性は、 $B_s=15 \text{ kG}$, $H_c=1.2 \text{ Oe}$, $H_k=50 \text{ Oe}$ である (a)。Fig. 3 (b) および (c) に示すようにパターン化した試料では、パターン幅が小さくなるほど形状磁気異方性が大きくなるため、 H_k が増大する。

Fig. 4 (a), (b) および (c) は Fig. 3 に示した試料の μ - f 特性である。いずれの試料も L.L. 式から導かれる計算値と一致する。Fig. 3 (a) から明らかなように、ベタ膜の μ' は約 300 で、計算結果 ($\mu=B_s/H_k$) と一致する。その f_r は 3GHz 付近に存在し、そこでの μ'' の大きさは約 600 である。この μ'' 値は、現在電磁波抑制体として使用されているフェライトや複合磁性体のそれよりも 2 桁近く大きな値である。Fig. 4 (b) および (c) に示すパターン化した試料では、パターン幅が小さくなるに従い H_k が大きくなるために、 μ' は減少するが、 f_r は高周波側にシフトする。ただし 0.5 mm 幅にパターン化した試料でも、 μ' および μ'' はそれぞれ約 150 と約 400 (3 GHz) である。以上のように $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ ナノグラニューラー磁性膜は、GHz 帯域に f_r を持ち、且つパターン化しても大きな μ'' を保持していることが判った。このことより、本膜が GHz 帯域において大きなノイズ抑制効果が期待できる。

Fig. 5 (a), (b) および (c) にベタ膜状の $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ ナノグラニューラー磁性薄膜の S_{11} , S_{21} の測定結果、および式 (1) より算出した $P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ を示す。磁化機構の関与を明らかにするために、○で表したものは、試料の磁化容易軸が MSL と平行になるように配置して測定した結果であり、●で表したものは、垂直になるように配置し評価した結果である。なお比較のために、MSL のみの結果 (実線) も併記した。

S_{11} は、MSL 上に置いた試料の磁化容易軸の方向に関係なくほぼ一定の値を示す (Fig. 5 (a))。ただし、この S_{11} は目標値 -10 dB より大きい。これは、膜の ρ の大きさが十分な大きさでないためのスタブ効果によるものと考えられる。 S_{21} (Fig.

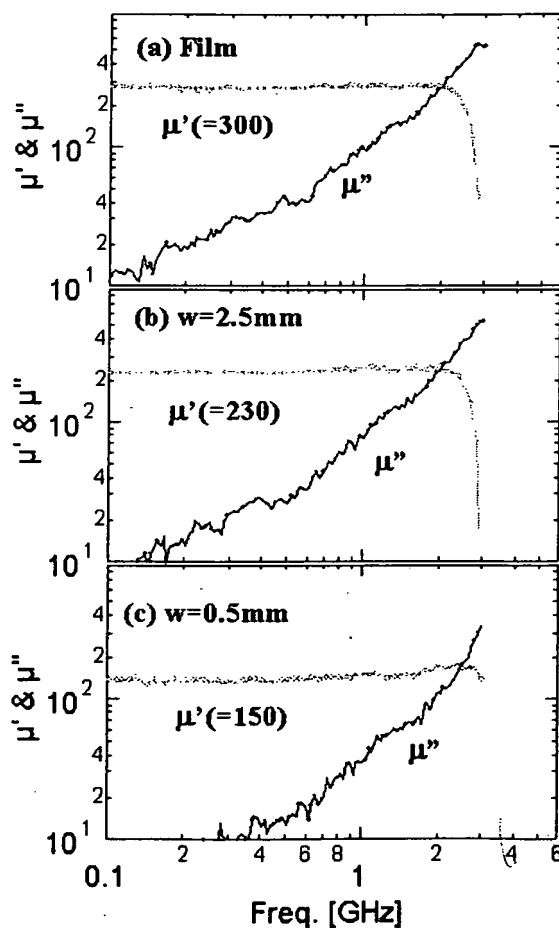


Fig. 4 Permeability μ' and μ'' as a function of frequency for FeCoAlO nano granular thin films. (a) films, (b) and (c) films which was patterned with slit along the easy axis.

5(b)) の値には、MSL 上に置く試料の磁化容易軸の方向によって、 f_r である 2-4 GHz の周波数帯域で明瞭な違いが見られる。Fig. 5 (c)に示す $P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ は、 S_{21} の結果を反映して、磁化容易軸と MSL が平行な場合の方が大きくなる。この大きな $P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ は、磁化容易軸と MSL が平行な場合には困難軸励磁となるために、 f_r 付近で μ'' が大きくなるためと考えられる。

このように、ベタ膜の伝送特性は、磁化容易軸と MSL の相対角度によって違いはあるものの、 $P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ は共鳴周波数である 3 GHz 付近にピークを持ち、静磁気特性から予想される結果と定性的に一致する。

5、パターン化した Co-Fe-Al-O 膜の伝送特性

Fig. 5 から明らかなように、ベタ膜ではスタブ効果により S_{11} は大きくなる。そこでスタブ効果を抑制し S_{11} を小さくするために、Co-Fe-Al-O 膜のパターン化し、膜抵抗の増加を試みた。導入したパターンは、磁化容易軸が MSL に平行になるように置いた膜に、スリットを MSL と平行にいったものと、垂直

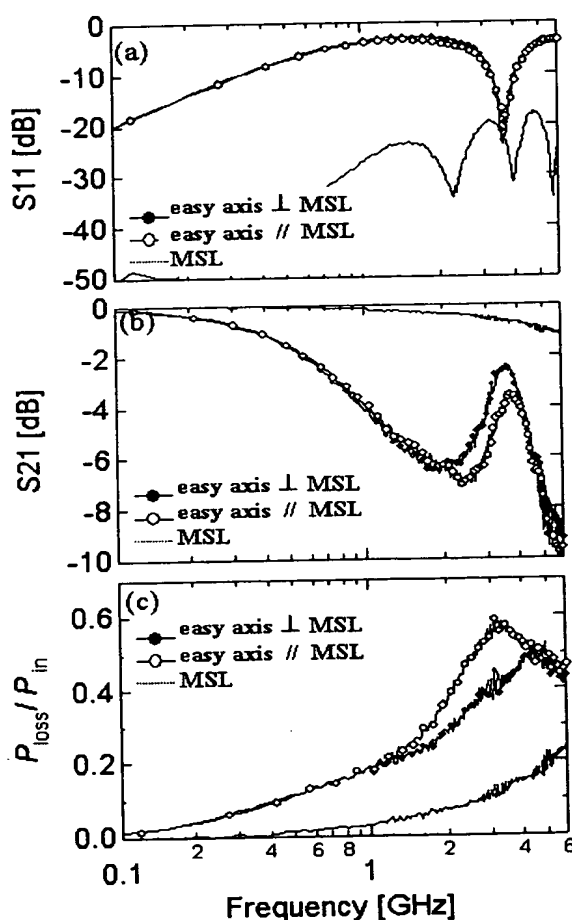


Fig. 5 Transmission characteristics (a) reflection parameter(S_{11}), (b) transmission parameter(S_{21}) and (c) power loss($P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$) for FeCoAlO films; \circ and \bullet represent the longitudinal(easy axis//MSL) and transverse (easy axis \perp MSL)

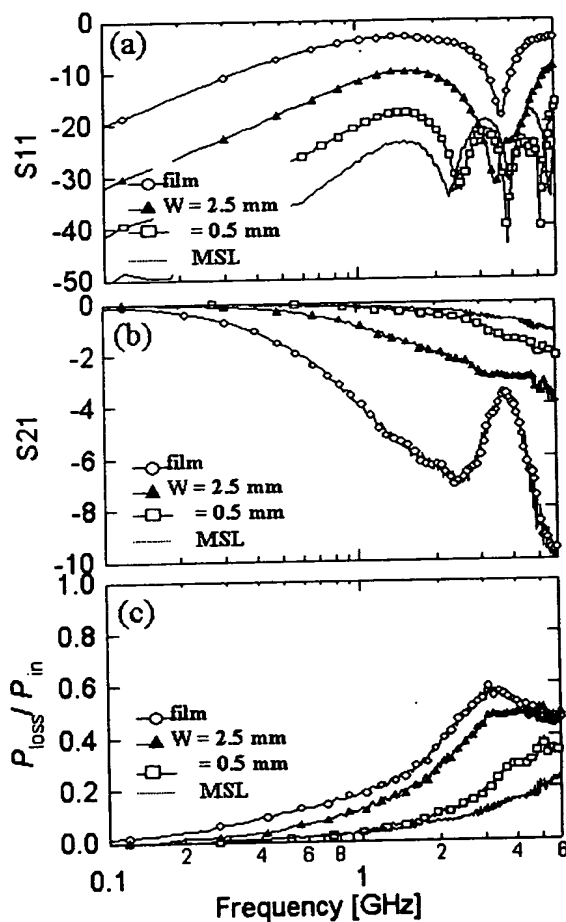


Fig.6 Transmission characteristics (a) reflection parameter(S_{11}), (b) transmission parameter(S_{21}) and (c) power loss($P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$) for FeCoAlO films which were patterned with slits parallel to the MSL.

に入れたものである。磁化容易軸が *MSL* に平行になるように置いた膜の評価結果を、Fig. 6 に示す。図中の (a), (b) および (c) は、それぞれパターン化した膜の S_{11} , S_{21} および $P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ を表す。パターン化することにより S_{11} は下がり、その減少傾向はパターン幅 (W) の減少と共に下がる傾向を示す (Fig. 6a)。これはパターン化することにより膜抵抗が増加し、スタブ効果が抑制されたためと思わ

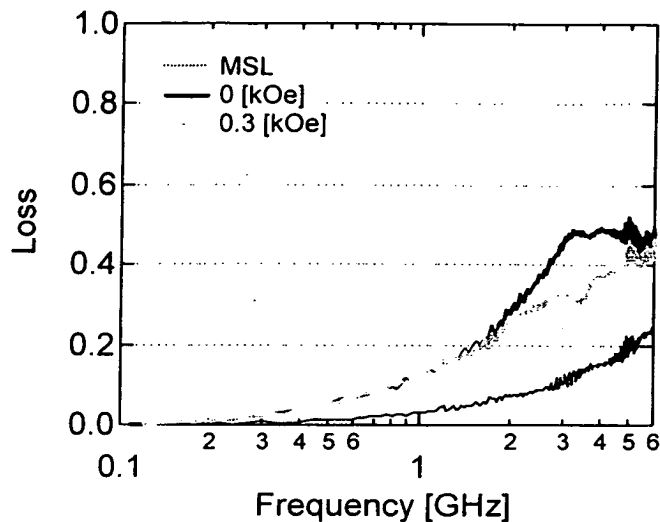


Fig. 7 Effect of an external magnetic field at the measurement of loss vs frequency for FeCoAlO nano granular films.

れる。 $W=2.5$ mm の膜において、 S_{11} は -10 dB 以下になる。このときの $P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ の大きさは、3 GHz においておおよそ 0.4 である (*MSL* に

よるバックグラウンドを差し引いた値)。 $W=0.5$ mm まで小さくすると、 S_{11} はほとんど無反射と見なせる -20 dB 程度まで小さくなる。ただし、このサイズまで W を小さくすると、 S_{21} も大きくなり、 $P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ はかなり小さくなってしまう。そのため、スタブ効果を抑え、且つ大きな $P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ を得るためには、 W の最適なサイズを選ぶことが重要となる。 *MSL* に垂直方向にパターン化した膜では、 S_{11} の -10 dB 以下の減少はどのパターン化膜でも見られなく、スタブ効果は *MSL* に平行にスリットを入れた場合にのみ改善されることがわかった。同様の傾向は、他のナノグラニューラー軟磁性膜でも観察された。

得られた $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ ($W=0.25$ mm, 膜厚 = 1 μm) 膜の $P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ 中の磁気損失の貢献度を調べるために外部磁場 H_{ex} を印加して伝送特性を測定した (Fig. 7)。図中、黒線は $H_{\text{ex}}=0$ での透磁率の測定結果から求めた値であり、灰色は $H_{\text{ex}}=0.3$ kOe を印加しながら測定した結果である。 *MSL* に垂直方向に存在する H_k (50 Oe) は、 *MSL* と平行に 0.3 kOe の外部磁場を印加させると、 H_k は消滅してしまう。すなわち、0.3 kOe の外部磁場を印加させると、膜は非磁性状態と同じ磁気的性質になる。 $H_{\text{ex}}=0$ と $H_{\text{ex}}=0.3$ kOe の伝送特性を比較すると、両者の間には f_r である 3 GHz 付近で約 0.17 の違いが見られる。この 0.17 が磁気損失による寄与成分とみなすことが出来る。

6、実用電磁波ノイズ抑制材料との比較

今回示した良好なノイズ吸収特性を示した、パターン化した $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ グラニューラー軟磁性膜 ($W=0.25$ mm, 膜厚 = 1 μm) と、既に市販されている複合磁性体を基本とする電磁波ノイズ抑制シート (膜厚 = 50 μm) とを比較した (Fig. 8)。パターン化した CoFeAlO 膜の膜厚は市販品の約 50 分の 1 の薄さであるにも関わらず、約 2 GHz 以上の高周波帯域において同等以上の性能を示す。特に、3 GHz 帯域付近での $\Delta P_{\text{loss}}/P_{\text{in}}$ は、複合磁性膜の約 1.4 倍の大きさを示す。

以上の結果からナノグラニューラー軟磁性膜には、GHz 帯域においてその大きな磁気損失に起因する、大きなノイズ抑制効果を示すことが明らかになった。この効果は薄膜であるにも係らず、市販品のそれより大きい。また本膜はスパッタ法で容易に作製できるため、電子デバイスの最終工程に容易に組み込むことが出来る。本方法（スパッタ法）の特長は成膜条件によってスパッタ粒子の回り込み量を容易に制御できるため、複雑で微細な形状のデバイスに対してもほぼ均一に成膜できることである。

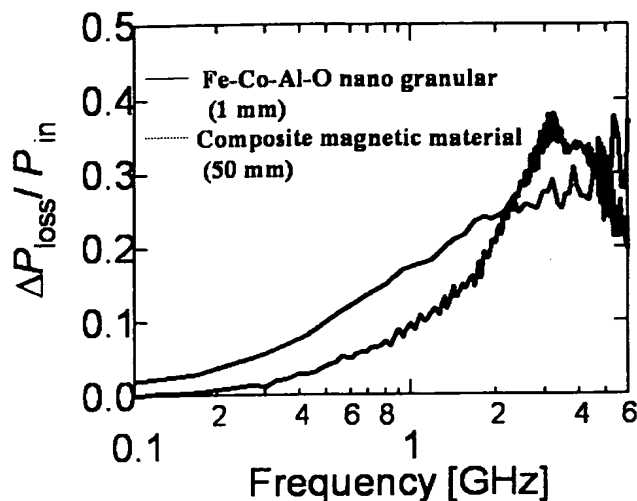


Fig.8 Comparison of Power loss ($\Delta P_{loss}/P_{in}$) for FeCoAlO nano granular thin film(1 μmt) and composite magnetic material sheet (50 μmt)

今回は、FeCoAlO 膜の結果のみを示した

が、ナノグラニューラー軟磁性膜には様々な特性を有する膜が存在するため、デバイスのニーズに応じた周波数帯域の組成膜を提供することが出来る。例えば、前節で紹介した Co-Si-Pd-O 膜

の場合は、その大きな Hk が故に、 $f_r=6$ GHz である。そのため、本膜は 6~8 GHz 付近で磁気損失に基づく大きな吸収特性を示すことが期待される。

4、まとめ

軟磁気特性を示すナノグラニューラー磁性膜を、GHz 帯域で使用するノイズ抑制膜としての応用を目的に、ナノグラニューラー $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ 膜の磁気特性・伝送特性を詳細に検討し、以下の結果を得ることが出来た。

- [1] ナノグラニューラー $\text{Co}_{54}\text{Fe}_{22}\text{Al}_8\text{O}_{16}$ 軟磁性薄膜は、GHz 帯域に共鳴周波数を持ち、且つ大きな複素透磁率を示す。
- [2] GHz 帯域において磁気損失に起因する大きなノイズ抑制効果を観察できた。その大きさは、伝送線路上に置く試料の磁化方向によって異なる。具体的にはナノグラニューラー膜の磁化容易軸方向を MSL と平行に配置した場合に、大きなノイズ抑制効果を示す。
- [3] ナノグラニューラー磁性薄膜をノイズ抑制膜として用いるためには、スタブ効果により大きくなる S_{11} を改善する必要がある。そのためには、膜をパターン化することが有効である。具体的には、MSL に平行にスリットを入れたパターンを膜に設けると、 S_{11} が -10dB 以下まで小さくなる。パターンを細分化しすぎると P_{loss}/P_{in} が小さくなりすぎる。MSL (幅: 3.0 mm) に対してはパターン幅が 2.5 mm のパターンが最適の大きさであり、 S_{11} が -10dB 以下となるとともに、 $\Delta P_{loss}/P_{in}$ が 0.4 を示す優れたノイズ抑制効果を示す膜を得る。

以上の結果から、ナノグラニューラー軟磁性膜は、GHz 帯域で磁気損失に起因する大きな電磁波ノイ

ズ抑制効果を有することが明らかになった。本研究は始まったばかりで、まだ検体数も少ない。ただし、上記の知見から明らかなように、ナノグラニューラー軟磁性膜は高周波帯域での電磁波ノイズ抑制膜として高いポテンシャルを有している。これらの結果は、今後ナノグラニューラー軟磁性膜を実際にデバイスに応用する際の、材料選択、配置、形状等の点で大きな指針を与えるものと考えられる。

謝辞

本研究は通信放送機構による地域提案型研究開発制度「ナノ構造制御による高性能電磁波吸収薄膜材料の開発—ミクロスケール EMC への展開—」(研究代表者: 東北大 島田 寛 教授)によるものである。有益な議論を展開してくれた同プロジェクトの島田 寛、山口 正洋、池田 慎司、Kim Ki Hyeon (東北大)、吉田栄吉、小野 裕司、伊藤 哲夫 (NEC/Tokin)、宮澤 安範 (凌和電子) の諸氏に感謝いたします。

[参考文献]

- 1、G.H. Jonker, H.P. Wijn and P.B. Broun: Philips Tech. Rev., 18, 145 (1956/1957)
- 2、吉田: 日本応用磁気学会誌、22, 441 (1998)
- 3、S. Yoshida, H. Ono, S. Ando, F. Tsuda, T. Ito, Y. Shimada, M. Yamaguchi, K.I. Arai, S. Ohnuma, T. Masumoto: IEEE trans. Magn., 37, 2401 (2001)
- 4、S. Ohnuma, H. Fujimori, S. Mitani and T. Masumoto: J. Appl. Phys., 79, 5130 (1996)
- 5、S. Ohnuma, H. Fujimori, S. Furukawa, F. Matsumoto and T. Masumoto: Mater. Scie. and Eng. A181/A182, 892 (1994)
- 6、G. Xiao, S.H. Liou, A. Levy, J.N. Taylor, and C.L. Chien: Phys. Rev., B34, 7573 (1984)
- 7、H. Karamon, T. Masumoto and Y. Makino: J. Appl. Phys., 57, 3527 (1985)
- 8、H. Fujimori, S. Mitani and S. Ohnuma: Mat. Sci. Eng., B31, 219 (1995)
- 9、A.B.Pakhomov and X. Yan: Solid State Commun., 99, 139 (1996)
- 10、E. Gan'shina, R. Kumaritova, A. Bogoroditsky, M. Kuzmichov, S. Ohnuma: J. Magn. Soc. Japan, 23, 379 (1999)
- 11、小林、大沼、増本、藤森: 日本応用磁気学会誌、20, 469 (1996)
- 12、大沼: 応用磁気学会、 세미나「ナノスケールで構造制御された磁性材料とその物性」: 41 (2001)
- 13、H. Herzer: IEEE Trans. Magn., 26, 1397 (1990)
- 14、細野、島田: 日本応用磁気学会誌、12, 295 (1988)

2003年6月11日受理